

2011年度森基金研究成果報告書

大型貨物自動車の隊列走行時の 隊列形成プロセスの評価

1 政策・メディア研究科 修士2年
平野達也

研究の背景

- 地球温暖化の原因の一つである二酸化炭素の排出量のうち、およそ2割が自動車からであり、自動車交通、特にトラックの省エネが必要である。
- トラックが高速走行を行う際に消費するエネルギーの4割は空気抵抗の影響で消費されている。
- トラック同士が車間距離を開けずに走行が可能なシステム、(隊列走行システム)を作れば、大幅な省エネルギー化に繋がる。

研究の目的

- 隊列走行とは、自動車が短い車間距離で走行し、走行中の空気抵抗を低減することを目的とした技術.
- 隊列走行をトラックで実現するためには、車両の隊列形成や、車両の離脱、故障時の対応プロセスを定めた制御シーケンスが必要.
- 本研究では、隊列形成制御シーケンスの正確さを評価する為のシミュレータを開発し、その有効性を明らかにすることを目的する.

隊列走行とは

- 隊列走行は、自動車が車間距離を縮めて走行する技術.
- 隊列走行により、車両3台の隊列走行時に空気抵抗が中間の車両で約5割削減.
- 隊列走行を行う為に必要な技術
 - 走行中の車間距離を維持する走行制御技術
 - 隊列の形成や隊列からの離脱のプロセスを定めた、制御シーケンス

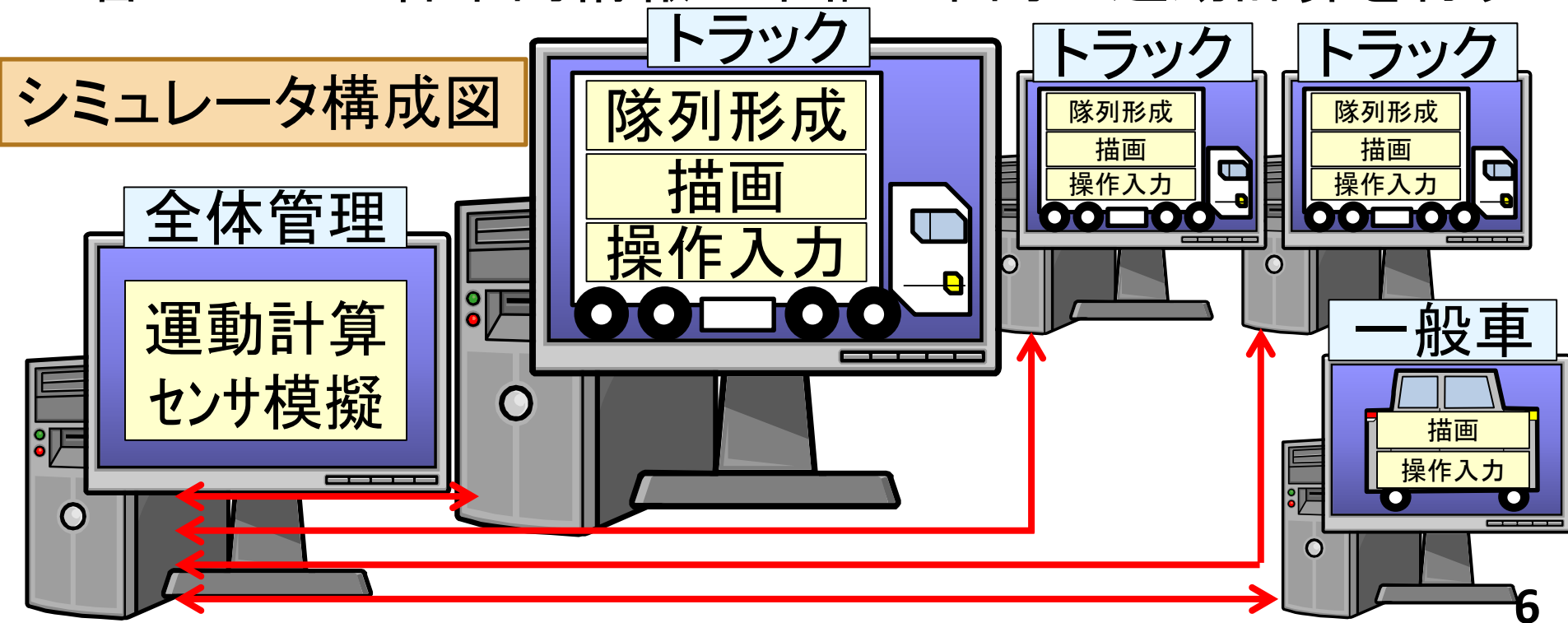
隊列形成や隊列離脱、故障時対応の制御シーケンスを安全、効率的に評価する手段が存在しない。

隊列形成制御シーケンス評価シミュレータを構築する上で必要な機能

- 高速道路上の車両が単独での走行から隊列を形成し、隊列から離脱するまでの過程や、故障時対応、一般車侵入時の対応評価が可能なものとする。
- 各車両を独立したコンピュータにより動作させ、実車に搭載するソフトウェアがほぼそのまま適用できるものとする。
- 隊列走行を行う車両のドライバーの意思確認等を行えるように、走行の様子を表示や入力・車両の操作ができるものとする。

構築した隊列形成制御シーケンス 評価シミュレータの概要

- シミュレータは各車両用PCと，管理を行うPCで構成.
- 各車両用PCで計算結果の描画とシーケンス管理を行う.
- 管理PCにて各車両情報の中継と車両の運動計算を行う.



構築したシミュレータ環境

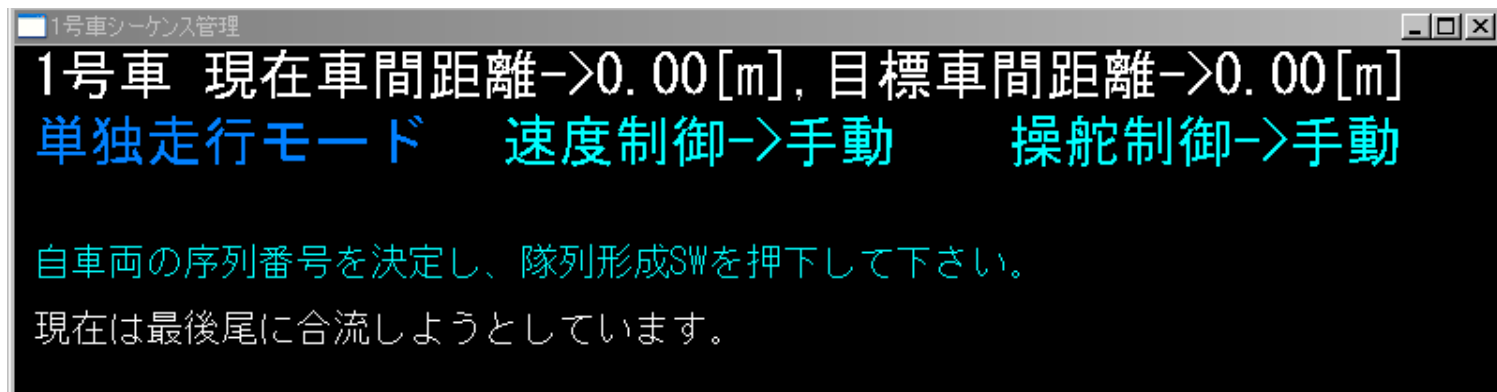


各車両用PCをドライバとして被験者が操作し、
全体管理PCにて、各車両の状態を確認する

隊列形成制御シーケンスシミュレータ(その1)

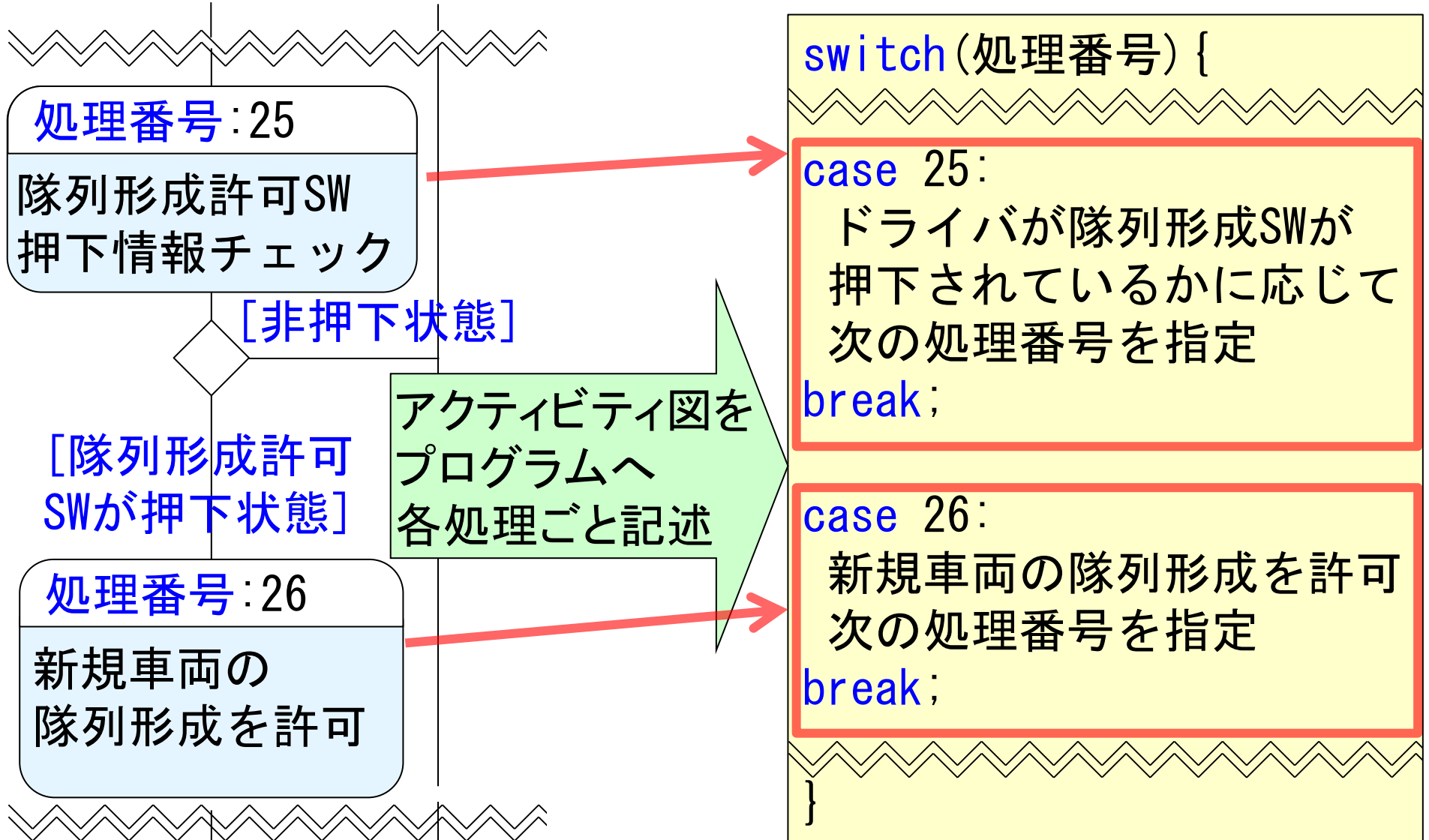
○ 隊列形成制御シーケンス管理プログラム

- 隊列形成制御シーケンスのアルゴリズムをプログラム上に記述したもの。
- 現在の自車両や他車両の状況に応じて、自車両の制御モードや、隊列走行の対象車両を決定する。
- プログラムは、隊列形成制御シーケンスのアクティビティ図内の処理ごとに記述している。



隊列形成制御シーケンス管理プログラムの動作の様子

隊列形成制御シーケンス管理プログラム



アクティビティ図

プログラム上の記述例 9

隊列形成制御シーケンスシミュレータ(その2)

○描画プログラム

- 各車両用PCにて, 実験結果を3Dグラフィックで描画.

○操作プログラム

- ドライバからのハンドル操作やボタン操作の入力.

○車両運動計算・全体管理プログラム

- 車両運動やセンサ値, 通信を模擬し, 各車両に送信.
- 車両から送信された, 各車両の情報を中継して送信.
- 全車両の状態や位置関係の画面描画, 走行ログの記録による事後的な評価への対応.

隊列形成制御シーケンス 評価シミュレータでの評価の様子

The screenshot displays a simulation environment with several data windows:

- Top Left:** Vehicle status for '2号車' (Vehicle 2), showing position (x, y), velocity (vel), and distance to the vehicle ahead (137.34m).
- Top Right:** Control logic windows showing '単独走行' (Solo driving) and '意思確認' (Intent confirmation) sequences.
- Bottom Left:** A window showing '2号車 前方の車両->137.34[m]先, 隊列時車間->0.00[m]' and control mode settings.
- Bottom Right:** A window showing 'レーダーでの直近' (Closest in radar) data for '車両C' and '一般車'.

Red boxes and arrows highlight the following information:

- 車両A:** Points to the '1号車' (Vehicle 1) in the queue.
- 車両Bの情報:** Points to the '意思確認 序列:2番' (Intent confirmation sequence 2) data.
- 車両Cと一般車:** Points to the radar data for 'レーダーでの直近' (Closest in radar).

各車両用PC

- 各車両の状況
- 隊列形成制御シーケンスの状態

全体管理PC

- 全車両の状態
- 全車両の相対位置関係

各車両と車両全体の2つの視点から評価が可能

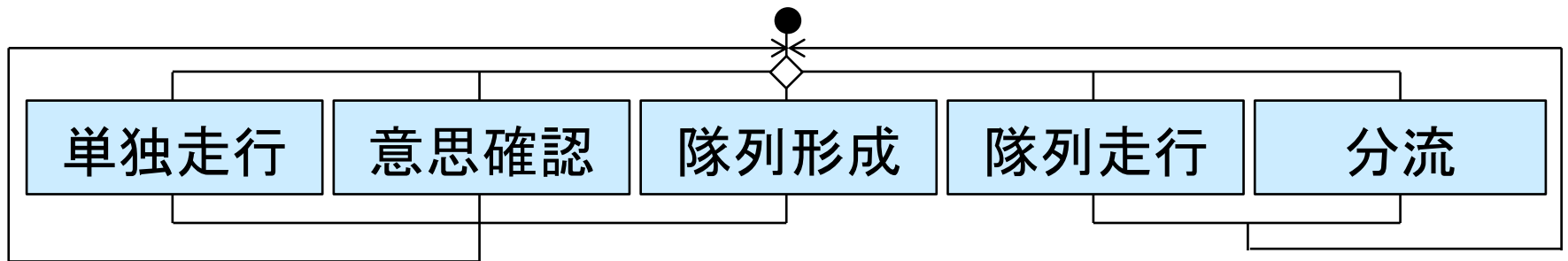
構築したシミュレータの有効性の確認

- 既存の隊列形成シーケンスを評価し、その誤りが検出できることを確認する。
- 検出した誤りを修正したものにより隊列形成が可能である事をシミュレーション、および小型電気自動車での評価により確認する。
- 隊列形成シーケンスの仕様変更（機能追加、機能変更）の際、シミュレータを用いて隊列形成シーケンスの変更を行い、変更箇所の評価ができることを確認する

シミュレータによる

隊列形成制御シーケンスの評価(その1)

- シミュレータにて隊列形成制御シーケンスの誤り検出。
 - 初期化処理などの不備
 - モード遷移の間違い
 - 処理順序の間違い 等の
- 隊列形成制御シーケンスの誤りを検出し, 修正した.



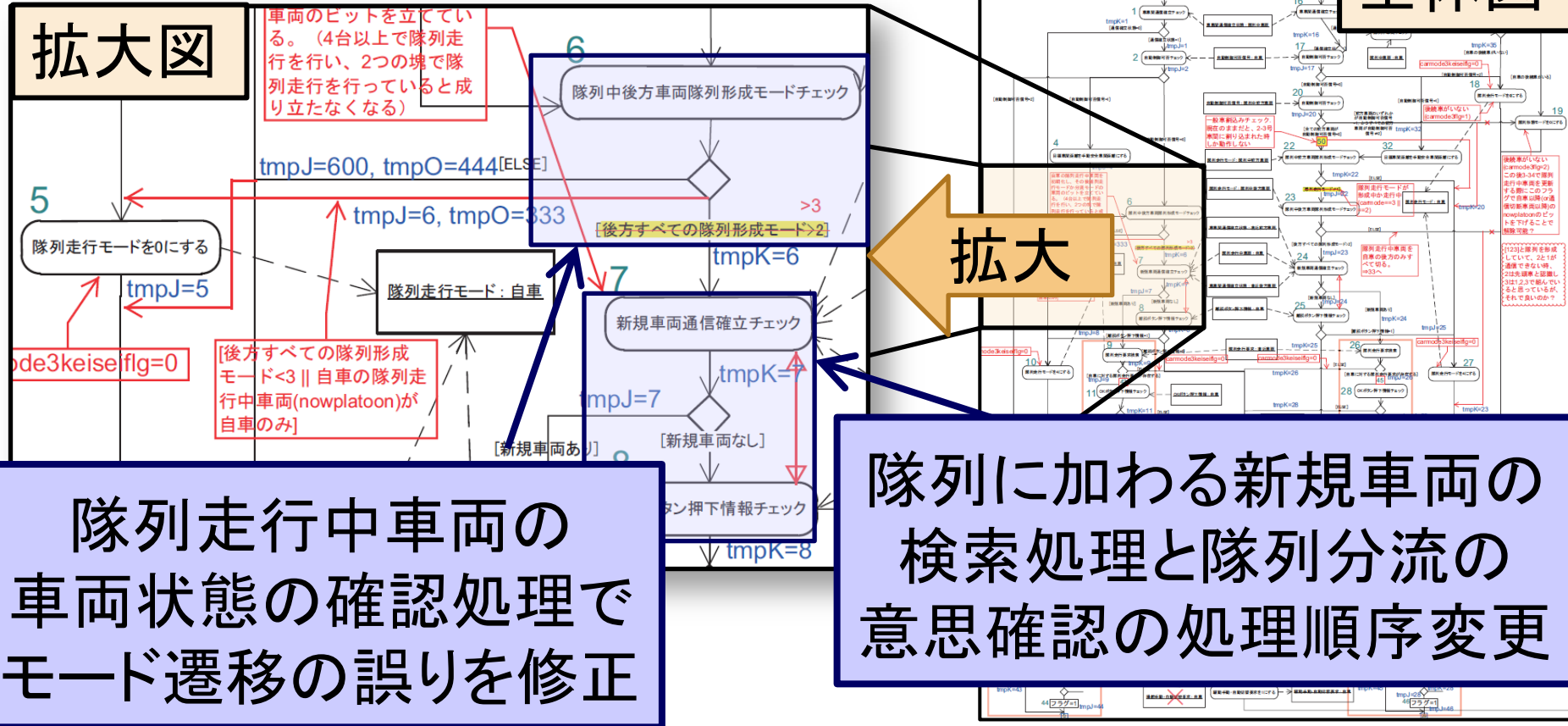
車両の走行状態に応じて, 異なる処理を実行

評価を行った, 提案された隊列形成制御シーケンスの略図

シミュレータによる

隊列形成制御シーケンスの改善例

隊列走行モードのアクティビティ図



隊列走行中車両の車両状態の確認処理でモード遷移の誤りを修正

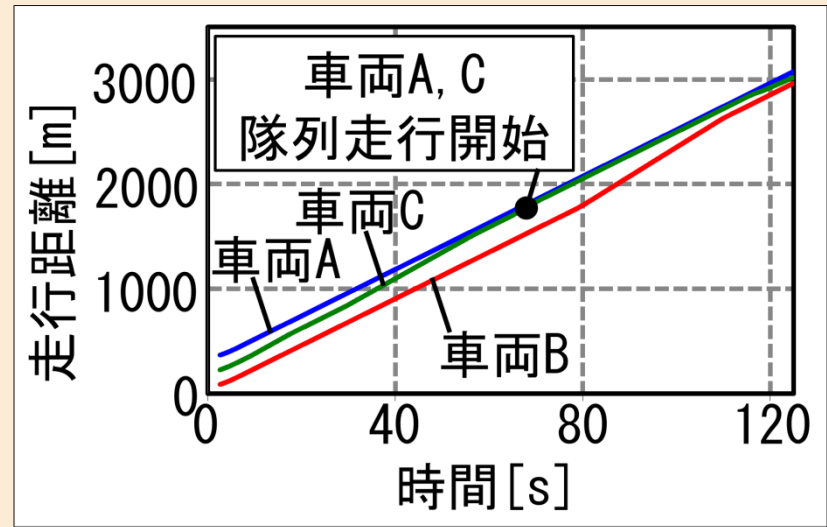
隊列に加わる新規車両の検索処理と隊列分流の意思確認の処理順序変更

シミュレータにより、隊列形成制御シーケンス内の処理順序や、モード遷移の誤りの修正を行った。

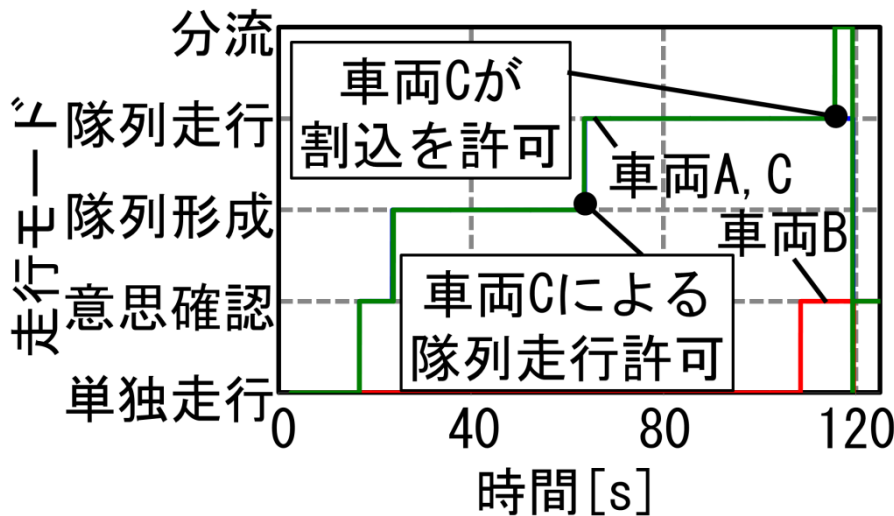
シミュレータに隊列形成制御シーケンスの 評価(その2)

- 改善されたシーケンスの妥当性の検証
 - 数値データの評価による検証とグラフ化による妥当性の可視化

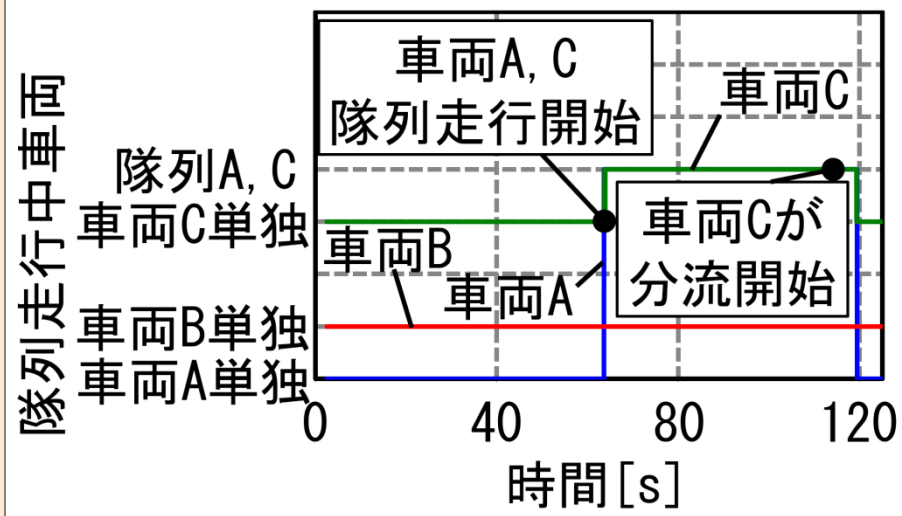
検証結果のグラフ化の例



走行距離の遷移



走行モードの遷移

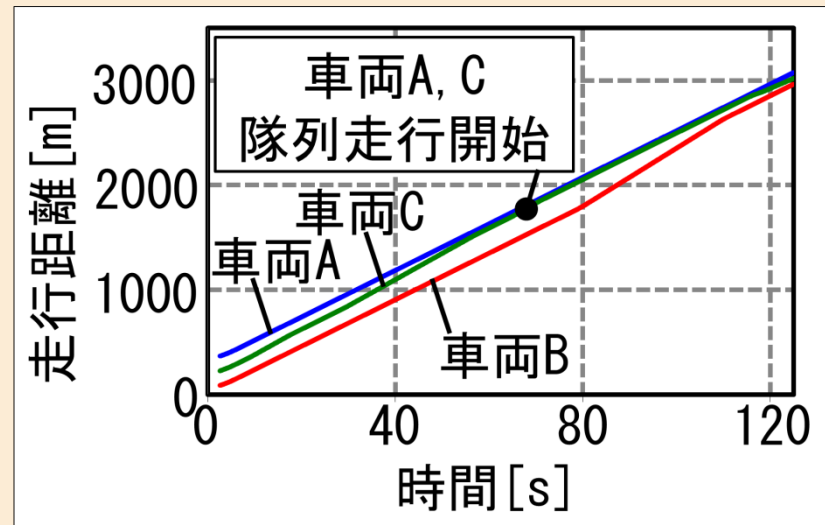


隊列走行中車両情報の遷移 15

シミュレータに隊列形成制御シーケンスの 評価(その2)

- 改善されたシーケンスの妥当性の検証
 - 数値データの評価による検証とグラフ化による妥当性の可視化

検証結果のグラフ化の例



走行距離の遷移

改善された隊列形成制御シーケンスにて、
車両3台での隊列形成が可能であることを
シミュレータ上で確認

時間 [s]
走行モードの遷移

時間 [s]
隊列走行中車両情報の遷移 16

改善された隊列形成制御シーケンスの 小型電気自動車による実験

- 車両3台の隊列形成後に、一般車が割り込むシナリオ

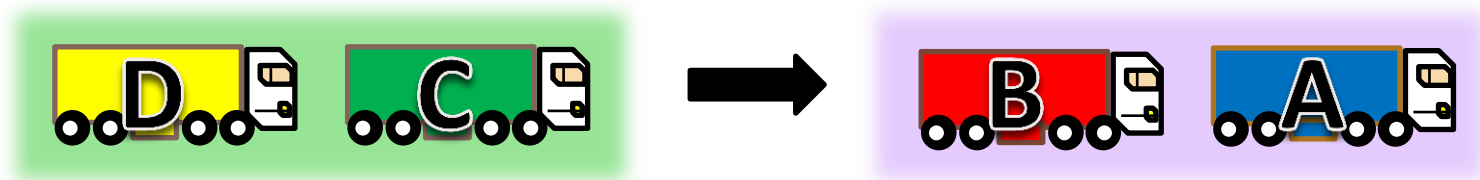


シミュレータにより、評価、改善された隊列形成制御
シーケンスにより、実車でも問題なく動作することを確認

隊列形成制御シーケンスの仕様変更への対応

- 開発したシミュレータが，隊列形成制御シーケンスの評価のみならず，仕様変更にも活用できることの確認.

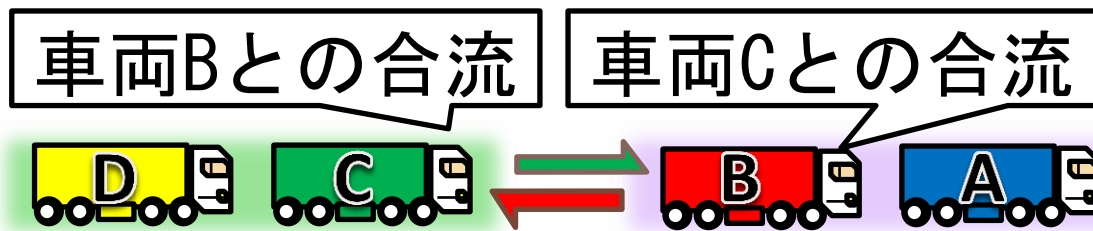
- 4台以上の車両での隊列走行への対応
 - 従来の隊列形成制御シーケンスでは3台まで。
4台以上で隊列走行を行う場合，2つの隊列ができ，隊列同士の合流が発生する可能性がある



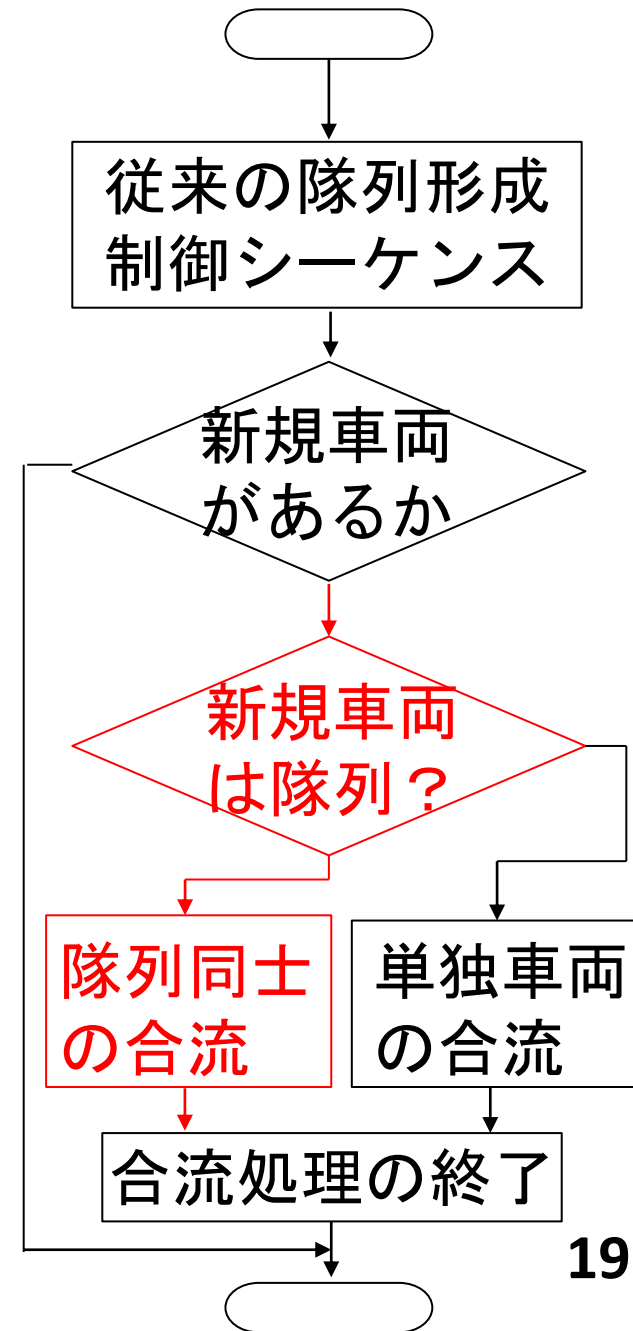
4台以上の車両の場合に想定される隊列同士の合流

追加した処理

- 4台以上の隊列走行への対応
 - 新規車両の状態に応じた対応.
 - 隊列同士の合流時の処理
 - 隊列合流の可否判断
 - 隊列合流の意思確認
 - 隊列同士の隊列形成



隊列同士の合流の例



評価シミュレーションのシナリオ

- 車両2台での隊列形成, 隊列同士の合流

2台の車両での隊列の形成



隊列同士の合流



シミュレーション映像 隊列同士の合流

計算

車両A
 隊列走行 序列:4番
 x->6626.69[m], y->-8.90[m]
 vel->79.94[km/h](22.21[m/s])
 acc->0.01[m/s²], th->0.00[rad]
 veldest->79.99[km/h]
 distdest->10.00[m]
 distance-> 9.98[m]
 自動制御可否信号-> 正常
 速度制御-> 自動
 操舵制御-> 手動
 車車間通信確立車両-> 1-2-3-4号車
 車車間通信許可車両-> 1-2-3-4号車
 隊列走行中車両-> 1-2-3-4号車
 前方隊列要求車両-> 2号車
 後方隊列要求車両-> 無し
 隊列許可車両-> 無し
 割込み一般車-> なし
 合流形態-> 手動後
 隊列形態-> 後続車

車両B
 隊列走行 序列:3番

車両C
 隊列走行 序列:2番

車両D
 隊列走行 序列:1番
 x->6692.67[m], y->-8.90[m]
 vel->79.99[km/h](22.22[m/s])
 acc->0.00[m/s²], th->0.00[rad]
 veldest->79.99[km/h]
 distdest->10.00[m]
 distance-> 10.00[m]
 自動制御可否信号-> 正常
 速度制御-> 自動
 操舵制御-> 手動
 車車間通信確立車両-> 1-2-3-4号車
 車車間通信許可車両-> 1-2-3-4号車
 隊列走行中車両-> 1-2-3-4号車
 前方隊列要求車両-> 無し
 後方隊列要求車両-> 3号車
 隊列許可車両-> 無し
 割込み一般車-> なし
 合流形態-> 手動後
 隊列形態-> 先頭車

一般車両 | 描画対象外

x->2954.89[m], y->-2.20[m]
 vel->36.00[km/h](10.00[m/s])
 acc->0.00[m/s²], th->0.00[rad]
 veldest->36.00[km/h]
 distdest->3.00[m]
 distance->0.00,9.98,31.98,53.98,-1.00
 -1.00,0.00,10.00,32.00,-1.00
 -1.00,-1.00,0.00,10.00,-1.00
 -1.00,-1.00,-1.00,0.00,-1.00

レーザーレーダーでの直近

1号車:9.98[m]
 2号車:10.00[m]
 3号車:10.00[m]
 4号車:なし

1号車, 序列番号4 2号車, 序列番号3 3号車, 序列番号2 4号車, 序列番号1

レーザーレーダー上の前方: 2号車
 前方車両まで 9.98[m]
 レーザーレーダー上の後方: なし

レーザーレーダー上の前方: 3号車
 前方車両まで 10.00[m]
 レーザーレーダー上の後方: 1号車

レーザーレーダー上の前方: 4号車
 前方車両まで 10.00[m]
 レーザーレーダー上の後方: 2号車

レーザーレーダー上の前方: なし
 レーザーレーダー上の後方: 3号車

以上により、隊列同士の合流による、車両4台での
 隊列形成が可能であることを確認しました。

隊列走行モードに移行しました

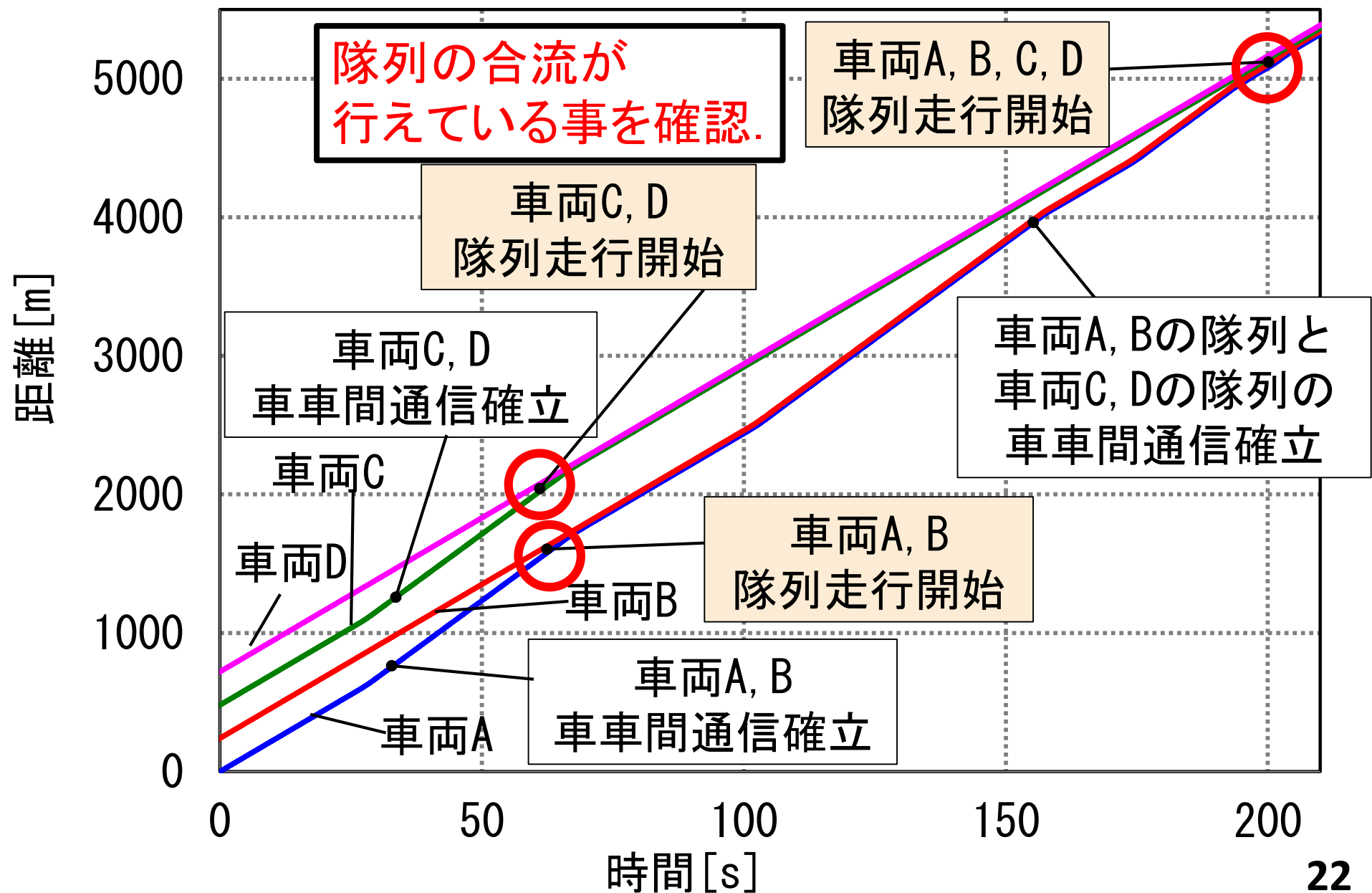
合流形態-> 手動後

速度制御-> 自動

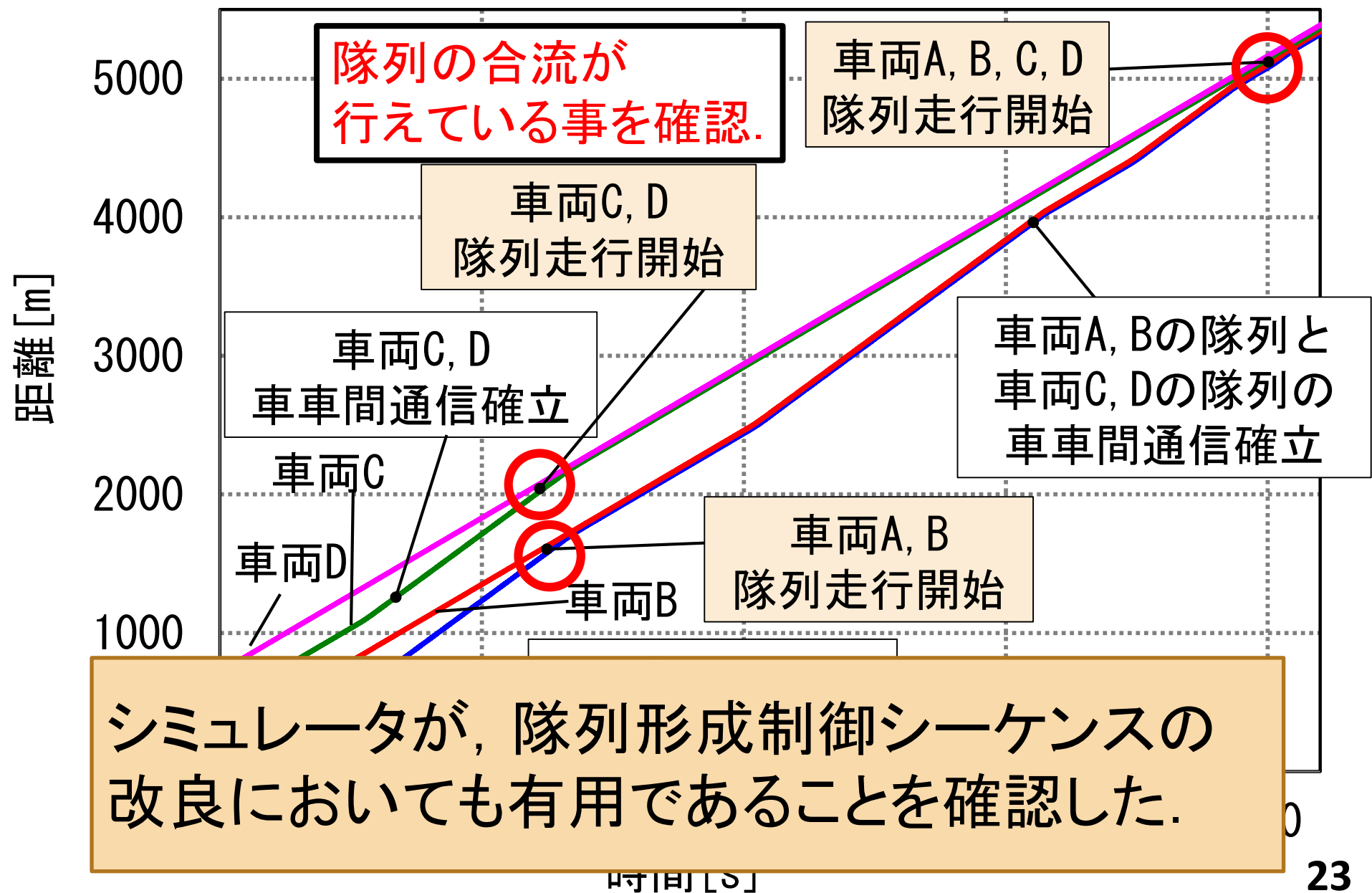
隊列走行中車両-> 3-4

シミュレータ上にて、改良した隊列形成制御シーケンスにて隊列同士の合流が実現できることを確認。

シミュレーション結果 隊列の合流



シミュレーション結果 隊列の合流



研究のまとめ

- 本研究では、隊列形成制御シーケンスの評価用シミュレータを開発した。また、評価実験を通して、シミュレータ評価の有効性を明らかにした。
- シミュレータのうち、各車両に搭載するPCでは、画面描画や隊列形成制御シーケンスの処理を行い、管理PCにて車両の運動計算を行った。
- 実験、シミュレーションにより、シミュレータを用いて隊列形成制御シーケンスの誤り検出や改良、機能の拡張が可能であると確認した。これにより、シミュレータの有効性を明らかにした。